

PAT-NO: JP02001204190A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001204190 A

TITLE: DEVICE FOR **ESTIMATING** INITIAL
MAGNETIC POLE POSITION AND
ITS **ERROR** ADJUSTMENT METHOD

PUBN-DATE: July 27, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

KIN, YASUO

COUNTRY

N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

YASKAWA ELECTRIC CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP20000007987

APPL-DATE: January 17, 2000

INT-CL (IPC): H02P006/16, H02P021/00 , H02P006/20

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To shorten a time for mounting an encoder, and to improve mounting accuracy by accurately estimating the deviation of a magnetic pole position existing when the encoder is mounted to a synchronous motor.

SOLUTION: In this **error** adjustment method based on the initial **magnetic pole position estimation** value of a synchronous motor with a means for calculating the initial **magnetic pole position** of a rotor, a command torque current is set to zero in a bi-phase command current, a command flux current is set to an arbitrary limited repetition waveform (45 to 48), angular acceleration is calculated according to detection speed (51), generation torque is **estimated** by a motor movement equation according to the information on the command flux current, detection speed, angular acceleration, inertia of the motor, viscosity friction, and friction torque, the **estimated** torque is

divided by the constant
of torque for **estimating** a torque current, the
command flux current and the
estimated torque current are used for **estimating** a
flux current, the **estimated**
flux current and the **estimated** torque current are
used for **estimating** the
initial **magnetic pole position** (54), and the result is
displayed (56).

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

【特許請求の範囲】

【請求項1】 直流電圧を任意の交流電圧に変換してAC同期モータを駆動するPWM電力変換手段と、前記AC同期モータの3相電流を検出する3相電流検出手段と、前記AC同期モータの初期磁極位置と相対電気角を検出する磁極・電気角検出手段と、前記検出電気角を用いて3相検出電流から2相検出電流への3相/2相座標変換を行う3相/2相座標変換計算手段と、前記検出電気角から検出速度を計算する検出速度演算手段と、指令トルク電流と指令磁束電流で構成された2相指令電流から前記2相検出電流を差し引いて電流誤差を計算する電流誤差演算手段と、前記電流誤差に電流比例積分ゲインを掛けて2相指令電圧を計算する電流比例積分構成部と、前記検出電気角を用いて前記2相指令電圧から3相指令電圧への2相/3相座標変換を行う2相/3相座標変換計算手段と、前記3相指令電圧と搬送波を比較してPWMゲートパルスを演算して該PWMゲートパルスを前記PWM電力変換手段に出力するPWMゲートパルス演算手段と、回転子の初期磁極位置を演算する初期磁極演算手段とを、備えたAC同期モータの駆動装置に用いられる初期磁極位置推定装置であって、該磁極位置推定装置は、前記指令トルク電流をゼロに設定しかつ指令磁束電流を任意の有限な繰り返し波形に設定して入力する指令電流波形生成手段と、前記検出速度から角加速度を演算する角加速度演算手段と、前記指令磁束電流と前記角加速度とモータのイナーシャとモータの粘性摩擦とモータの摩擦トルクの情報からモータ運動方程式でモータが発生するトルクを推定するトルク推定演算手段と、演算された前記推定トルクをモータのトルク定数で割ってトルク電流を推定するトルク電流推定演算手段と、前記指令磁束電流と前記推定トルク電流を用いて磁束電流を推定する磁束電流推定演算手段と、前記推定磁束電流と前記推定トルク電流を用いて初期磁極位置を推定する磁極推定演算手段とからなることを特徴とするAC同期モータの初期磁極位置推定装置。

【請求項2】 前記指令磁束電流の任意の有限な繰り返し波形が三角波または正弦波であることを特徴とする請求項1記載の初期磁極位置推定装置。

【請求項3】 前記指令磁束電流の最大値はモータの定格電流に任意の定数K（定数Kはゼロ～1間の実数）を掛けて計算することを特徴とする請求項1記載の初期磁極位置推定装置。

【請求項4】 第n周期まで前記指令磁束電流を前記三

角波または前記正弦波で入力し、それ以降はゼロで入力することを特徴とする請求項1記載の初期磁極位置推定装置。

【請求項5】 速度の任意上限値を設けて、前記検出速度が前記任意上限値を超えたかどうかを判断することを特徴とする請求項1記載の初期磁極位置推定装置。

【請求項6】 移動平均法で瞬時の前記推定初期磁極から平均推定初期磁極を計算することを特徴とする請求項1記載の初期磁極位置推定装置。

10 【請求項7】 請求項1～6のいずれか1項記載の初期磁極位置推定装置で計算した平均推定初期磁極の結果を表示装置で表示し、組み立て者が該表示装置で確認した後に初期磁極位置の誤差を修正することを特徴とするAC同期モータの初期磁極位置誤差調整方法。

【請求項8】 前記表示装置は7セグメント表示器であることを特徴とする請求項7記載の初期磁極位置誤差調整方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

20 【発明の属する技術分野】本発明は、表面磁石形AC同期モータのエンコードの取り付けによる初期磁極位置誤差を推定し、ソフト的にその誤差を調整するAC同期モータの初期磁極位置推定装置及びその誤差調整装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】AC同期モータは起動するときに磁極検出器から検出した初期磁極位置の情報が必要であり、検出初期磁極位置の情報を基にしてAC同期モータが正しく動く。検出初期磁極位置の情報がAC同期モータの実際磁極と最大に±90°ずれた最悪の場合にはトルクが発生しない（電力損失）ため、AC同期モータが動かないことになる問題が生じる。このような理由から、AC同期モータにおいて正確な検出初期磁極位置の情報は重要であり、正確な検出初期磁極位置の情報を得るためにAC同期モータとエンコードとの取り付けの機械的位置合わせ方法と初期磁極推定方法がいろいろ工夫されている。初期磁極位置と発生トルクとの関係を式（1）で示している。

$$T = T_m \times \cos \theta_{\text{error}} \quad \dots (1)$$

40 ここで、T は発生トルク、

T_m はトルクの最大値、

θ_{error}は初期磁極位置のずれ角である。

エンコード取り付け・調整の従来方法Iは機械的位置合わせ方法で、一般的に下記の手順で調整を行っている。

・ステップ1：AC同期モータに直流励磁をかける（U相に負「-」極、V相とW相に正「+」極）。

・ステップ2：ステップ1によりAC同期モータは任意方向に動いた後、所定の位置（励磁電流の方向）でロックされる。

50 ・ステップ3：AC同期モータの固定子（ステータ）側

の基準点(U相)にエンコーダの基準点と合わせ、ステップ2でのAC同期モータロック状態(モータの初期磁極位置)をエンコーダの原点とする。

・ステップ4:回転子(ロータ)の初期磁極位置に対して、取りつけるエンコーダの出力信号(初期磁極位置検出)が一致する位置までエンコーダを回転させ、その状態で両者(エンコーダ、モータ)の回転子側と固定子側のそれぞれを固定する。

・ステップ5:外部駆動で、モータを回転しながらEMF波形とエンコーダからの初期磁極位置情報を比較し、一致しなければ取り付けの再調整を行う。

上記の従来技術以外に、特開平6-153576号公報に開示された従来技術Iは、任意の初期磁極位置に相当する電圧を印可し、その時のモータの回転方向から前記初期磁極位置に補正初期磁極位置を加える。これを繰り返すことにより正しい初期磁極位置を探して行く方法で磁極推定法である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところが、従来方法Iでは、

①エンコーダの取り付け・調整方法が手動調整なので、取り付け精度がばらついていること。

②エンコーダの原点をモータの初期磁極位置と正確に合わせることが難しいこと。

③エンコーダの取り付け誤差 θ_{error} の存在により生じるトルク誤差 $(1 - \cos \theta_{error})$ の原因であること(θ_{error} は初期磁極位置とずれているエンコーダの取り付けの検出初期磁極位置誤差を意味する)。

④トルク電流誤差は磁束電流(無効電流)なので、電力損失の原因になること。

⑤従来方法Iでのステップ4による再調整は時間がかかること。

⑥従来技術Iは試行錯誤的な繰り返し方法で正確に推定できないこと(推定磁極誤差の精度範囲が $\pm 30^\circ$ 以内)。

等が問題になった。そこで、本発明は初期磁極推定式を用いてエンコーダをAC同期モータに取り付けした時に存在する初期磁極位置のずれ角を正確に推定し、これを表示することによって、初期磁極位置を正しく調整することが可能となり、エンコーダ取り付け時間の短縮と取り付け精度を上げることで品質向上に大きく役割を果たすことを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】上記問題を解決するため、請求項1記載の初期磁極位置推定装置は、直流電圧を任意の交流電圧に変換してAC同期モータを駆動するPWM電力変換手段と、前記AC同期モータの3相電流を検出する3相電流検出手段と、前記AC同期モータの初期磁極位置と相対電角を検出する磁極・電角検出手段と、前記検出電角を用いて3相検出電流から2相

検出電流への3相/2相座標変換を行う3相/2相座標変換計算手段と、前記検出電角から検出速度を計算する検出速度演算手段と、指令トルク電流と指令磁束電流で構成された2相指令電流から前記2相検出電流を差し引いて電流誤差を計算する電流誤差演算手段と、前記電流誤差に電流比例積分ゲインを掛けて2相指令電圧を計算する電流比例積分構成部と、前記検出電角を用いて前記2相指令電圧から3相指令電圧への2相/3相座標変換を行う2相/3相座標変換計算手段と、前記3相指令電圧と搬送波を比較してPWMゲートパルスを演算して該PWMゲートパルスを前記PWM電力変換手段に出力するPWMゲートパルス演算手段と、回転子の初期磁極位置を演算する初期磁極演算手段とを、備えたAC同期モータの駆動装置に用いられる初期磁極位置推定装置であって、該磁極位置推定装置は、前記指令トルク電流をゼロに設定しかつ指令磁束電流を任意の有限な繰り返し波形に設定して入力する指令電流波形生成手段と、前記検出速度から角加速度を演算する角加速度演算手段と、前記指令磁束電流と前記角加速度とモータのイナー

シャとモータの粘性摩擦とモータの摩擦トルクの情報からモータ運動方程式でモータが発生するトルクを推定するトルク推定演算手段と、演算された前記推定トルクをモータのトルク定数で割ってトルク電流を推定するトルク電流推定演算手段と、前記指令磁束電流と前記推定トルク電流を用いて磁束電流を推定する磁束電流推定演算手段と、前記推定磁束電流と前記推定トルク電流を用いて初期磁極位置を推定する磁極推定演算手段とからなることを特徴としている。そして、請求項2記載の発明は、前記指令磁束電流の任意の有限な繰り返し波形が三角波または正弦波であることを特徴とし、請求項3記載の発明は、前記指令磁束電流の最大値はモータの定格電流に任意の定数K(定数Kはゼロ~1間の実数)を掛けて計算することを特徴としている。また、請求項4記載の発明は、第n周期まで前記指令磁束電流を前記三角波または前記正弦波で入力し、それ以降はゼロで入力することを特徴とし、請求5記載の発明は、速度の任意上限値を設けて、前記検出速度が前記任意上限値を超えたかどうかを判断することを特徴とし、さらに、請求項6記載の発明は、移動平均法で瞬時の前記推定初期磁極から平均推定初期磁極を計算することを特徴としている。さらに、請求項7記載のAC同期モータの初期磁極位置誤差調整方法の発明は、請求項1~6のいずれか1項記載の初期磁極位置推定装置で計算した平均推定初期磁極の結果を表示装置で表示し、組み立て者が該表示装置で確認した後に初期磁極位置の誤差を修正することを特徴としており、請求項8によれば、その表示装置は7セグメント表示器であることを特徴としている。

【0005】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図に基いて説明する。図1は本発明の実施例の形態に係る

d q電流制御（ベクトル電流制御）によるAC同期モータの電流制御ブロック図である。図2は本発明の実施例の形態に係る指令磁束電流の任意の有限な繰り返し波形に関する図（a：三角波、b：正弦波）である。図3は本発明の実施例の形態に係る初期磁極位置推定及びその誤差調整に関するフローチャートである。図4は本発明の実施例の形態に係る初期磁極位置のずれ角と発生トルクとの関係を示す図である。本発明の実施の形態は、図1に示すAC同期モータのd q電流制御（ベクトル電流制御）上で、初期磁極位置推定装置の適用例である。AC同期モータの駆動装置は、図1中のAC同期モータ11を除く構成である。即ち、直流電圧20を任意の交流電圧に変換してAC同期モータ11を駆動するPWM電力変換手段12と、AC同期モータの3相電流を検出する3相電流検出手段13と、AC同期モータの初期磁極位置・相対電角を検出する磁極・電角検出手段14と、電角を用いて3相検出電流から2相検出電流への3相/2相座標変換を行う3相/2相座標変換計算手段15と、検出電角から検出速度を計算する検出速度演算手段22と、指令トルク電流（q軸指令電流）と指令磁束電流（d軸指令電流）で構成された2相指令電流から2相検出電流を差し引いて電流誤差を計算する電流誤差演算手段16と、前記電流誤差に電流比例積分ゲイン*

$$\theta_{est} = \tan^{-1} (I_{q\ est} / I_{d\ est}) \quad \dots \dots (2)$$

ここで、 θ_{est} は推定初期磁極位置、 $I_{q\ est}$ は推定 ※ ※ルq電流、 $I_{d\ est}$ は推定磁束電流、

$$\begin{aligned} T_{est} &= J \times d\omega / dt - T_{fr} - D \times \omega \quad \dots \dots (3) \\ &= J \times \alpha - T_{fr} - D \times \omega \end{aligned}$$

ここで、 T_{est} は推定トルク、 J はモータのイナーシャ、 ω はモータの速度、 T_{fr} は摩擦トルク定数、 D は

$$I_{q\ est} = T_{est} / K_t \quad \dots \dots (4)$$

$$I_{d\ est} = [(I_{d\ est})^2 + (I_{q\ est})^2]^{1/2} \quad \dots \dots (5)$$

$$\theta_{est} = \sin^{-1} (I_{q\ est} / I_{d\ est}) \quad \dots \dots (6)$$

$$\theta_{est} = \cos^{-1} (I_{d\ est} / I_{d\ est}) \quad \dots \dots (7)$$

ここで、 K_t はモータのトルク定数、 $I_{d\ est}$ は指令磁束電流

従来方法IでエンコードをAC同期モータに取り付けする手段41と、モータパラメータ（モータのイナーシャJと粘性摩擦Dと摩擦トルク T_{fr} とトルク定数 K_t ）の入力手段42と、モータの制御モードを位置制御モード（または速度制御モード）からトルク制御モードに切り替える制御モード変更手段43と、トルク制御モード上で、2相指令電流（ $I_{d\ est}$ 、 $I_{q\ est}$ ）の中で指令トルク電流 $I_{q\ est}$ はゼロに設定し、指令磁束電流 $I_{d\ est}$ は任意の有限な繰り返し波形に設定して入力する指令電流波形生成手段45と、検出速度 ω から角加速度 α を演算する角加速度演算手段と、指令磁束電流 $I_{d\ est}$ と角加速度 α とモータのイナーシャJとモータの粘性摩擦Dとモータの摩擦トルク T_{fr} の情報から式（3）のモータ運動方程式でモータの発生トルク T_{est} を推定するトルク推定演算手段と、推定トルク T_{est} をモータのトルク定数 K_t で割ってト☆50

*を掛けて2相指令電圧を計算する電流比例積分構成部17と、検出電角を用いて2相指令電圧から3相指令電圧への2相/3相座標変換を行う2相/3相座標変換計算手段18と、3相指令電圧と搬送波を比較してPWMゲートパルスを演算して該PWMゲートパルスをPWM電力変換手段12に出力するPWMゲートパルス演算手段21を備えている。図1の1が本発明によるAC同期モータの駆動装置に加えられた初期磁極推定・表示・誤差調整装置であり、これは初期磁極推定・誤差調整装置101と、該初期磁極位置推定装置101で計算した平均推定初期磁極の結果を表示する表示部を有すると共に該誤差調整装置101への入力部を兼ね備えた表示装置102とから構成されている。次に、図3に示すフローチャートは、本発明の初期磁極位置推定とその調整方法を示す図である。初期磁極推定は推定トルク電流（q軸推定電流）と推定磁束電流（d軸推定電流）を基にした式（2）で計算を行う。また、推定トルク電流と推定磁束電流のいずれかと指令磁束電流を基にした式（6）と式（7）からも同じ推定初期磁束位置の結果を導出することができる。式（3）～式（5）は推定トルク電流と推定磁束電流を計算する時、用いられる式である。

☆ルq電流 $I_{q\ est}$ を推定するトルク電流推定演算手段と、指令磁束電流 $I_{d\ est}$ と推定トルク電流 $I_{q\ est}$ から式（5）を用いて磁束電流 $I_{d\ est}$ を推定する磁束電流推定演算手段と、推定磁束電流 $I_{d\ est}$ と推定トルク電流 $I_{q\ est}$ から式（2）を用いて初期磁極位置 θ_{est} を推定する初期磁極推定演算手段を備えたことからの構成である。指令磁束電流 $I_{d\ est}$ が三角波または正弦波であることからの構成である。指令磁束電流の最大値 $I_{d\ est\ max}$ はモータの定格電流に任意の定数K（定数Kはゼロ～1間の実数）を掛けて計算することからの構成である。第n周期（ $1 \leq n$ ）まで指令磁束電流 $I_{d\ est}$ を三角波または正弦波で入力し、それ以降はゼロで入力することからの構成である。速度の任意上限値 ω_{limit} を設けて、検出速度 ω が任意上限値 ω_{limit} を超えたかどうかを判断することからの構成である。移動平均法で瞬時の推定初期磁極 θ_{est} から平均推定初期磁極 $\theta_{ave\ est}$ を計算することからの構成である。移動平均法で計算し

た平均推定磁極 $\theta_{ave\ est}$ の情報を7セグメントで表示し、初期磁極位置の誤差を修正することからなる構成である。上記で述べた磁極推定は手段を下記に示す手順で行う。

・ステップ1：従来方法Iと同じように、エンコーダをAC同期モータに取り付ける。

・ステップ2：モータパラメータの情報（モータのイナーシャJと粘性摩擦Dと摩擦トルクTfrとトルク定数Kt）を入力する。

・ステップ3：制御モードを位置制御モード（速度制御モード）からトルク制御モードに切り替える。

・ステップ4：トルク制御モード上で、指令トルク電流 I_{q*} をゼロに設定すると共に、エンコーダ取り付けの現在の任意磁極位置情報 θ_0 を利用し、指令磁束電流を図2のように三角波または正弦波で入力する。但し、指令磁束電流 I_{d*} は第1周期～第n周期（例の定数nは2に設定）まで入力した値、磁束電流指令の最大値 I_{d*max} はモータの定格電流値に任意定数K（定数Kはゼロ～1間の実数、例の定数Kは0.2に設定）を掛けて計算した値である。

・ステップ5：指令磁束電流 I_{d*} 、角加速度 α 、速度 ω の情報を取得する。

・ステップ6：下記の条件（A）が満たされた場合、式（2）～式（5）でトルク推定電流 $I_{q\ est}$ を演算した後に推定磁極 θ_{est} の演算を行う。しかし、下記の条件が満たさなかった場合に初期磁極位置の推定演算を行わず、任意定数Kの値を下げてステップ3から再度行う。

（A）任意上限設定の速度以下： $\omega \leq \omega_{limit}$

・ステップ7：ステップ6で計算した推定初期磁極 θ_{est} の値は瞬時値であり、その瞬時推定磁極を平均推定磁極 $\theta_{ave\ est}$ に求めるために移動平均法で平均推定初期磁極の演算を行う。

・ステップ8：デフォルトの初期磁極情報 θ_0 と推定磁極情報 θ_{est} が任意上限設定の磁極範囲 θ_{limit} （例の θ_{limit} は $\pm 20^\circ$ に設定）以外の場合、エンコーダの取り付けのステップ1を再度に行ったら、ステップ5以降から行う。

・ステップ9：最後に、上記ステップで求めた平均推定初期磁極 $\theta_{ave\ est}$ を初期磁極位置のパラメータに自動的に書き直す。また、サーボアンプの7セグメントに平均推定磁極 $\theta_{ave\ est}$ の結果を表示し、組み立て者が確認した後、修正を行う。平均推定磁極 $\theta_{ave\ est}$ の結果を表示するには、この場合、7セグメントが判読し易く、しかもコスト安であり、最適である。本発明は正確なモータパラメータの情報を与えた前提条件で行う方法である。

【0006】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、

1) エンコーダをモータの初期磁極位置の電気角 ± 1

・誤差以内に合わせることが出来ること、

2) トルク誤差を最小限に抑えることで最大トルクを発生することができること、

3) エンコーダの取り付け誤差・調整の時間を短縮することができること、

4) 組み立ての生産ラインで取り付け精度を上げることと品質向上に大きく役割を果たすことができること、

5) 現場でエンコーダ故障があった場合に新しいエンコーダを簡単に取り付けして調整ができること、という効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】d-q電流制御によるAC同期モータの電流制御ブロック図。

【図2】本発明における指令磁束電流 I_{d*} の任意の有限な繰り返し波形関する図（a：三角波、b：正弦波）。

【図3】本発明における磁極推定及びその調整方法に関するフローチャート。

【図4】AC同期モータにおいて、初期磁極位置のずれ角と発生トルクとの関係を示す図。

20 【符号の説明】

* 指令を表す添字

fb 検出を表す添字

d-q 2相座標系

a-b-c 3相座標系

Vt 搬送波電圧

Vdc PWMインバータの直流電圧

V_{q*} , V_{d*} 2相座標に於いてd軸とq軸の指令電圧

V_{a*} , V_{b*} , V_{c*} 3相座標に於いてa軸、b軸、c軸の指令電圧

30 V_a , V_b , V_c 3相座標に於いてa軸、b軸、c軸のインバータの出力電圧

I_{q*} , I_{d*} 2相座標に於いてd軸とq軸の指令電流

I_q , I_d 2相座標に於いてd軸とq軸の実際電流

I_a , I_b , I_c 3相座標に於いてa軸、b軸、c軸の実際電流

I_{afd} , I_{bfd} , I_{cfd} 3相座標に於いてa軸、b軸、c軸の検出電流

ΔI_q , ΔI_d 2相座標に於いてq軸とd軸の電流誤差
 θ 相対検出電気角

40 θ_{limit} 任意上限設定の磁極範囲

θ_{est} 推定初期磁極位置（実際磁極原点からずれた推定初期磁極位置）

$\theta_{ave\ est}$ 平均推定初期磁極位置

ω_{limit} 任意上限設定の速度範囲

ω 検出速度

α 角加速度

T_{est} 推定トルク

$I_{q\ est}$ 推定トルク電流

$I_{d\ est}$ 推定磁束電流

50 Tfr 摩擦トルク

Kt トルク定数

J モータのイナーシャ

PWM INVERTER PWMインバータ

Gau, Gad, Gbu, Gbd, Gcu, Gcd PWMインバータのゲート6パルス

1 本発明による初期磁極推定・表示・誤差調整装置

11 AC同期モータ

12 PWM電力変換手段

13 三相交流電流センサ (CT)

14 初期磁極位置・相対位置センサ (エンコーダ)

15 3/2座標変換計算手段

16 減算器

17 2相座標での電流比例積分構成部

18 2/3座標変換計算手段

19 三角搬送波

20 直流電源装置

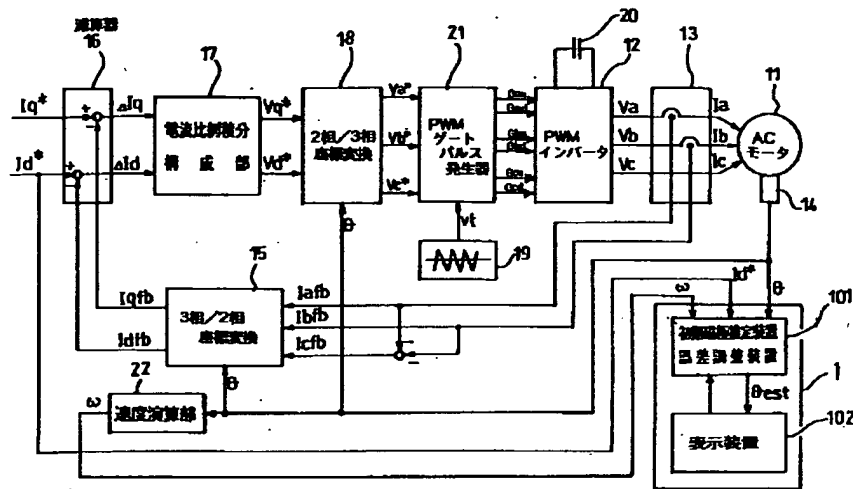
21 PWMゲートパルス発生器

22 速度演算部

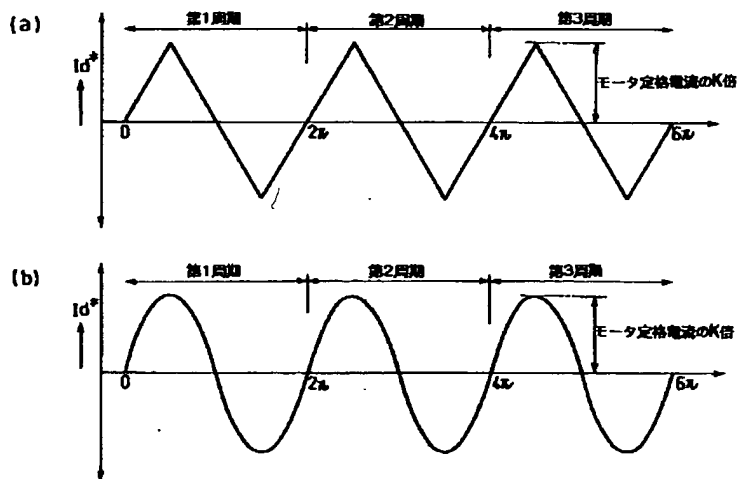
101 本発明の初期磁極推定装置・その調整方法

102 7セグメント

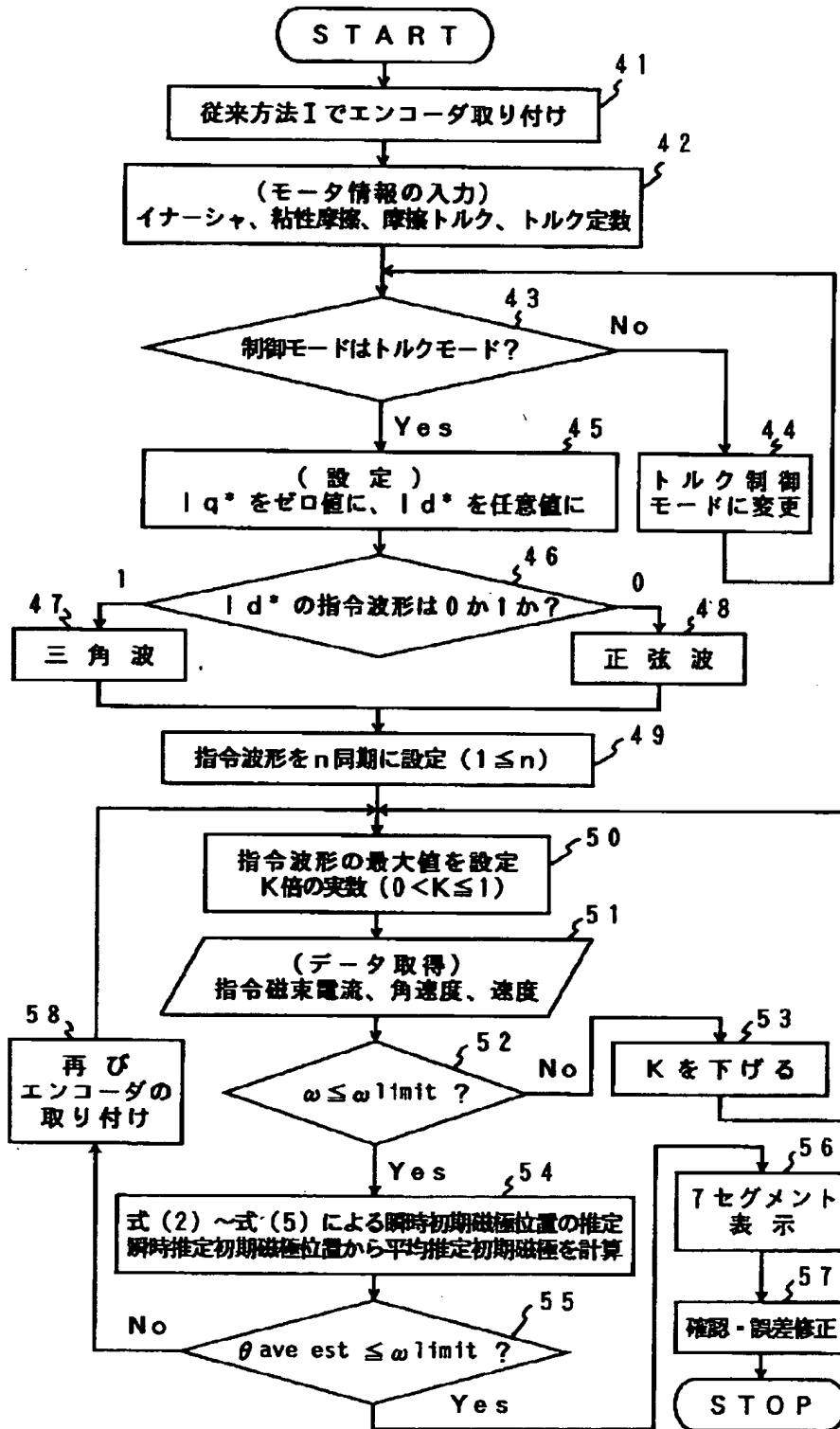
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

